

## **Prüfwesen und Qualitätssicherung**

Hans W. Griepentrog, Frank Volz, Ulrich Rubenschuh, Georg Schuchmann

### **Kurzfassung**

Aktuelle komplexe Sensortechnik und eine zugehörige Datenanalyse erfassen die Einsatzbedingungen von Landmaschinen heute genauer und sind dadurch die Grundlage für eine höhere Effizienz der Maschinennutzung und der auszubringenden Betriebsmittel. Die vielfach angestrebte Reduktion von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln ist heute nur möglich mit einer Kombination aus traditioneller Hacktechnik und moderner Sensortechnik, da diese in der Arbeitsqualität und der Flächenleistung gesteigert werden konnten. Für das Prüfwesen in der räumlichen Positionsbestimmung sind zielverfolgende Ortungssysteme (Tachymeter) auch unter dynamischen Bedingungen geeignet, eine hohe Genauigkeit zu erreichen.

### **Schlüsselwörter**

Sensortechnik, Datenauswertung, Betriebsmitteleffizienz, sensorbasierte Hacktechnik, Ortungssysteme

## **Test Engineering and Quality Assurance**

Hans W. Griepentrog, Frank Volz, Ulrich Rubenschuh, Georg Schuchmann

### **Abstract**

Today's complex sensor technology and associated data analysis record the operating conditions of agricultural machinery more accurately and thus form the basis for greater efficiency in machine use and the inputs to be applied. The much sought-after reduction in the use of chemical-synthetic crop protection agents is only possible today with a combination of traditional hoeing technology and modern sensor technology, as this has made it possible to increase the quality of work and area output. For testing in spatial positioning, target-tracking positioning systems (tachymeters) are suitable for achieving high accuracy even under dynamic conditions.

### **Keywords**

Sensor technology, data analysis, resource efficiency, sensor based hoeing technology, positioning systems

## **Einleitung**

Komplexe Sensortechnik und eine zugehörige Datenanalyse und -speicherung erfassen Prozessbedingungen und -ergebnisse heute sehr präzise und können so zu einer besseren Funktionsweise von Landmaschinen beitragen, da sich darauf aufbauend Maschinen auf erfasste wechselnde Einsatzbedingungen selbsttätig anpassen können. Auch werden reine Maschinendaten wie Fahrgeschwindigkeit, Antriebsdrehzahlen als auch Stoffdurchsätze bereits innerhalb des Maschinensystems bereitgestellt, um auch diese zur Prozessoptimierung zu nutzen. Diese Verbesserung in der Funktion kann dann direkt zu einer Steigerung von Maschinenauslastung, Arbeitsqualität und Qualität von Ernteprodukten führen. Darüber hinaus verfügen beispielsweise komplexe Erntemaschinen nicht nur über automatisch-adaptive Funktionen von Baugruppen, sondern sie erfassen über moderne Kamerasysteme beispielsweise ihre Arbeitsweise, um den Bediener zu entlasten als auch um eine Dokumentation von Arbeitsqualitäten wie z. B. den Erdanhang bei Zuckerrüben bereitzustellen. Einher geht auch mit dem Fortschreiten der Digitalisierung nicht nur die Erfassung, sondern auch eine Speicherung von Einsatz- und Maschinendaten über Telemetriesysteme auf Internetplattformen [1].

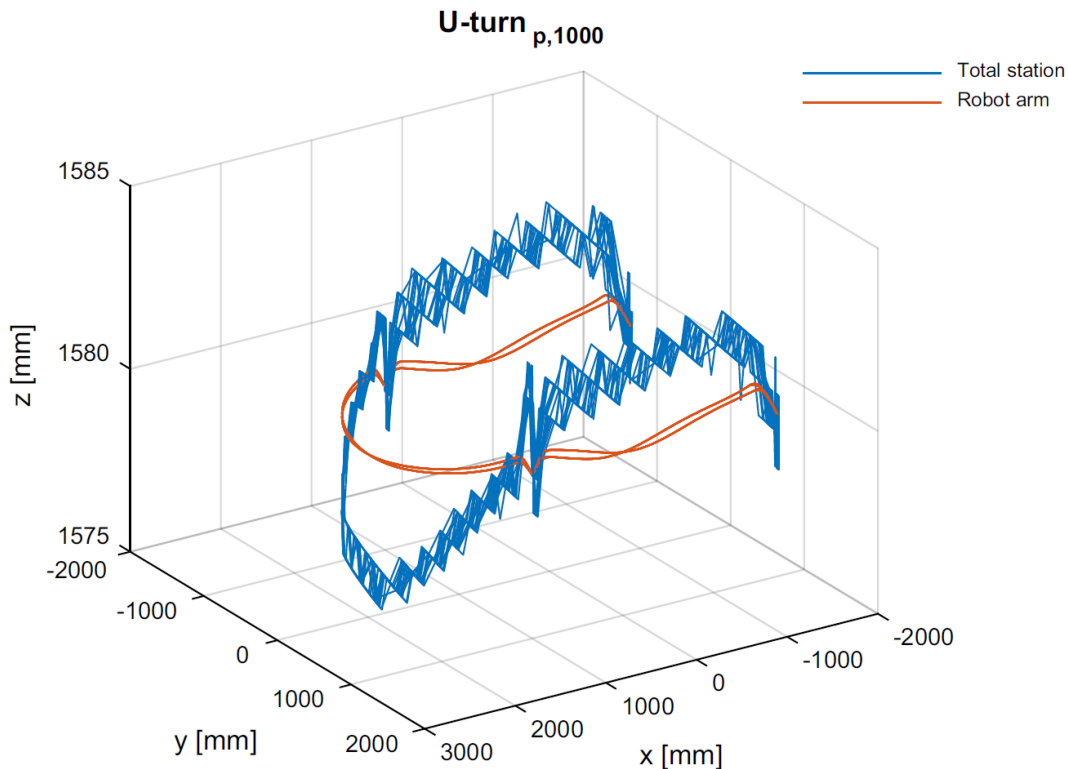
In der Prüftechnik und Qualitätssicherung in der Landtechnik allgemein spielt der Trend zu digitaler Technik in doppelter Weise eine Rolle. Einerseits erfassen Maschinen an sich quasi selbst bereits Daten über ihren Einsatz und Funktionsweise und andererseits wird es zum Teil einfacher, zu praxisnahen Prüfzwecken Maschinen mit Sensorik und telemetrischer Datenspeicherung nachzurüsten. Auch bieten moderne Drohnentechniken mit Kamerasystemen bereits die Möglichkeit, um vereinfacht Ertragsabschätzungen von Getreide- und Grünlandbeständen zu machen oder sie liefern georeferenzierte Karten über Unkräuter innerhalb eines Schläges. Diese können beispielsweise vor als auch nach einer Bearbeitung durch Landmaschinen quantitativ erfasst und anschließend bewertet werden.

## **Messtechnik zur Erfassung von Bewegungen im Raum**

Um für verschiedene Prüfverfahren Aussagen über die Genauigkeit der spezifischen Positionierungsfunktionen machen zu können, werden Messverfahren als Referenz benötigt, die eine hohe Genauigkeit wie beispielsweise maximal 1 cm unter dynamischen Bedingungen aufweisen [2; 3]. Dies ist beispielsweise bei Prüfungen von automatischen Lenksystemen und mechanischen Hackgeräten der Fall. Die aus der Geodäsie stammenden zielverfolgenden Ortungssysteme (Tachymeter) erreichen diese Genauigkeiten in der statischen Anwendung bei weitem. Bisher war unbekannt, ob sie auch unter dynamischen Bedingungen die hohen Anforderungen erfüllen, in welcher Größenordnung die Fehler liegen und wie die Abhängigkeiten zu Geschwindigkeit und Winkelveränderung sind.

Um ein Tachymeter unter realistischen Bedingungen für eine dynamische 3D-Positionierung im Freien auf Zentimeter-Ebene einsetzen zu können, wurde die Genauigkeit des Tachymeters unter Verwendung eines industriellen Roboterarms ermittelt und bewertet [4]. Der Roboterarm hatte eine Wiederholgenauigkeit von  $\pm 0,1$  mm und wurde unter normalen Außenbedingungen betrieben. Es wurden gerade AB-Linien als auch Kurvenbahnen durchgeführt. Der absolute Fehler des Roboterarms betrug als Mittelwert maximal 0,33 mm und als Einzelwert 1,30 mm für eine enge Kurvenbahn. Die horizontale und vertikale Abweichung zwischen dem

Tachymeter und den Daten des Roboterarms wurde für verschiedene Kurvenbahnen und Geschwindigkeiten berechnet. Aus den Ergebnissen war ersichtlich, dass mit steigender Geschwindigkeit die horizontale Abweichung anstieg. Die maximale mittlere Abweichung (horizontal) aller Experimente betrug 4,01 mm und maximal 12,86 mm für die Einzelwerte für enge Kurvenbahnen. Die vertikale Abweichung für alle Experimente überschritt nie den Wert 10 mm. Somit sind Tachymeter geeignet, um unter dynamischen Bedingungen Bewegungen im dreidimensionalen Raum mit einem Fehler von maximal 1 cm zu beschreiben, siehe **Bild 1**.



**Bild 1:** Ergebnisse aus einer identischen 3D-Kurvenbahn für Tachymeter (Totalstation) und Robotikarm [4]

**Figure 1:** Result of an identical 3D trajectory for tachymeter (total station) and robot arm [4]

### Prüfung von Reihenhacken zur mechanischen Unkrautregulierung

Steigende Auflagen und Resistenzprobleme beim chemischen Pflanzenschutz führen in der Landwirtschaft zum verstärkten Einsatz von Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung. Traditionell wurden diese Reihenhacken zum größten Teil von einer zweiten Bedienperson gesteuert. Aus Kostengründen als auch aufgrund einer höheren Präzision der Arbeitsweise wird die Steuerung heute von moderner Sensortechnik unterstützt bzw. komplett von einer kombinierten Aktorik übernommen. Es muss zunächst zwischen verschiedenen Systemen unterschieden werden: Reine traktorgeführte oder selbstgeführte Hackgeräte. Traktorgeführte Geräte basieren hauptsächlich auf dem automatischen Lenksystem des Zugfahrzeugs. Sie verwenden – wenn möglich – allerdings die aufgezeichneten Fahrspuren von der Aussaat als

Basis und sind an dem Schlepper in Querrichtung relativ fixiert angebaut. Selbstgeführte Hackgeräte erkennen die Pflanzenreihen mit Echtzeitsensoren und steuern die Hackwerkzeuge parallel zu den Reihen. Die Querverschiebung erfolgt dabei unabhängig vom Traktor meist mittels eines hydraulischen Querverschieberahmens. Als ein hybrides System können Seitenverschiebungen innerhalb der 3-Punkt-Gerätekopplung des Schleppers angesehen werden. Dieses nutzt dann Sensorwerte von der gekoppelten Hacke als Steuersignale für die Querverschiebung bzw. die Führung der Werkzeuge.

Als Sensoren werden hauptsächlich 2D- oder 3D-Kameras und hochgenaue GNSS-Sensoren verwendet. GNSS-Sensoren brauchen allerdings vorgegebene Leitlinien, wie beispielsweise aus aufgezeichneten Fahrspuren der Aussaat. Vereinzelt werden auch LIDAR oder Ultraschallsensoren zu Navigationszwecken in Sonderkulturen verwendet. 3D-Kamerasysteme haben den Vorteil, dass auch in größeren Unkrautspots die Reihenerkennung funktioniert, da sie räumliche Reihenprofile in Längsrichtung erkennen können und damit nicht nur auf Segmentierungen von grünen Pixelanteilen basieren.

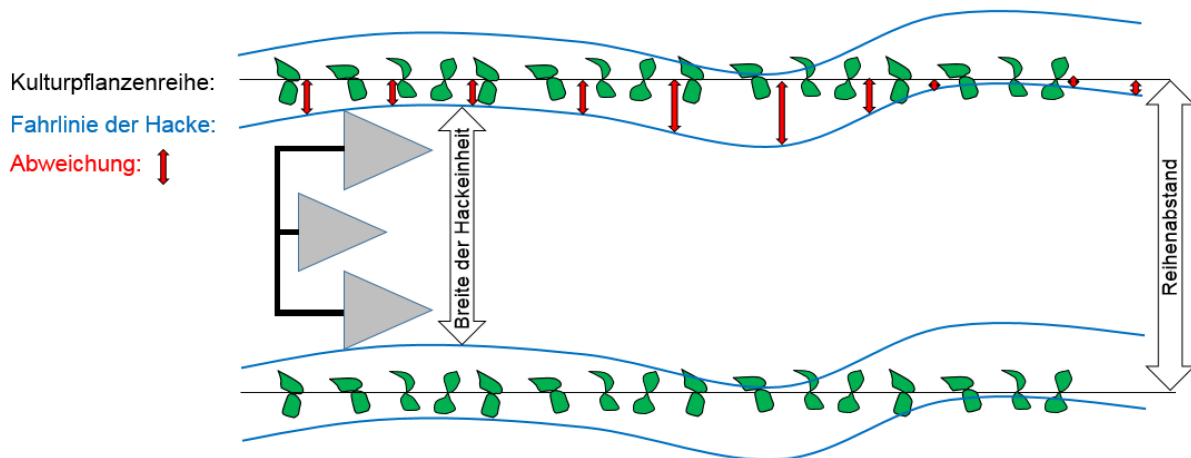
In der Praxis sind beim Einsatz von Hacken vor allem zwei Punkte für den Erfolg entscheidend: Zum einen sollte die bearbeitete Fläche als auch die Intensität der Bearbeitung möglichst hoch sein, da nur so eine starke Reduktion der Unkrautdichte erreicht wird. Zum anderen gilt es, die Nutzpflanzenverluste zu minimieren, was generell einen Zielkonflikt darstellt, da eine hohe Bearbeitungsfläche und -intensität das Risiko der Kulturpflanzenschädigung erhöht [5]. Hier gewährleistet eine möglichst genaue technische Führung der Werkzeuge der Hacke einen akzeptablen Kompromiss in der Arbeitsqualität. Diese Systeme werden heute sogar zum Hacken in Getreidebeständen mit Reihenweiten von 12 cm eingesetzt [6].

Die Arbeitsqualität der Hackmaßnahme steht deshalb im Mittelpunkt einer Maschinenprüfung. Diese umfasst die Ermittlung der Reduktion der Unkrautdichte und des Schädigungsgrades der Kulturpflanzen. Dazu werden nach der Bearbeitung die Unkrautdichte und der Beschädigungsgrad der Kulturpflanzen bonitiert. Neben der Bestimmung der Arbeitsqualität kommt bei Geräten mit automatischer Reihenführung – und ohne eine solche sind hohe Flächenleistungen nicht erreichbar – die Positionsgenauigkeit der Werkzeuge hinzu, da sie das gewünschte Arbeitsergebnis entscheidend beeinflusst. Darüber hinaus ist der ideale Einsatzzeitpunkt der Hackmaßnahme entscheidend. Sie hängt vom Kulturpflanzenstadium, der Witterung und von den Bodenbedingungen ab.

Das DLG-Testzentrum hat den Prüfrahmen für Hackmaschinen zur mechanischen Unkrautregulierung in Reihenkulturen aktualisiert und bereits F&E-Prüfungen durchgeführt. Die Arbeitsqualität wird im Rahmen von Feldtests in Abhängigkeit der Kultur an jeweils zwei oder drei Hackterminen geprüft. Es wurden Einsatzzeitpunkte festgelegt für die Reihenkulturen Zuckerrüben, Mais, Sonnenblumen, Salat oder Gemüse. Hinzu kommen verschiedene Arbeitsgeschwindigkeiten sowie Anforderungen an Seitenführung und Hackleistung. Konkret bedeutet dies, dass das Hackgerät auch mit Hanglagen oder konturierten, d. h. nicht geraden Pflanzenreihen sowie mit Unkrautspots und Kulturpflanzenlücken zurechtkommen muss. Dies bedeutet auch, dass die Versuchsfelder für eine Prüfung präpariert werden müssen [7].

Bei der Bestimmung der Führungsgenauigkeit werden Tachymeter-basierte Messungen durchgeführt. Diese wurden im DLG-Testzentrum erstmals zur Bestimmung der Genauigkeit

automatischer Lenksysteme von Traktoren eingesetzt. Das zu verfolgende Prisma wird dabei auf dem zu vermessenden mobilen Punkt der Maschine installiert. Bei den Hackgeräten war es meist eine Position auf dem Werkzeugträger der Hackaggregate, der die Querbewegungen ausführt. Es konnten so Fahrlinien der Werkzeuge aufgezeichnet werden, siehe **Bild 2**. Aus den Abweichungen des Sollabstandes der Werkzeugpositionen zu den Kulturpflanzenreihen werden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet, um die Genauigkeit der Arbeitsweisen zu dokumentieren und bewerten zu können [8].



**Bild 2:** Darstellung der Fahrlinie eines Aggregates einer Reihenhacke zur Unkrautbekämpfung im Zwischenreihenbereich von Kulturpflanzen [7]

**Figure 2:** Trajectory of a hoe aggregate for interrow weeding in row crops [7]

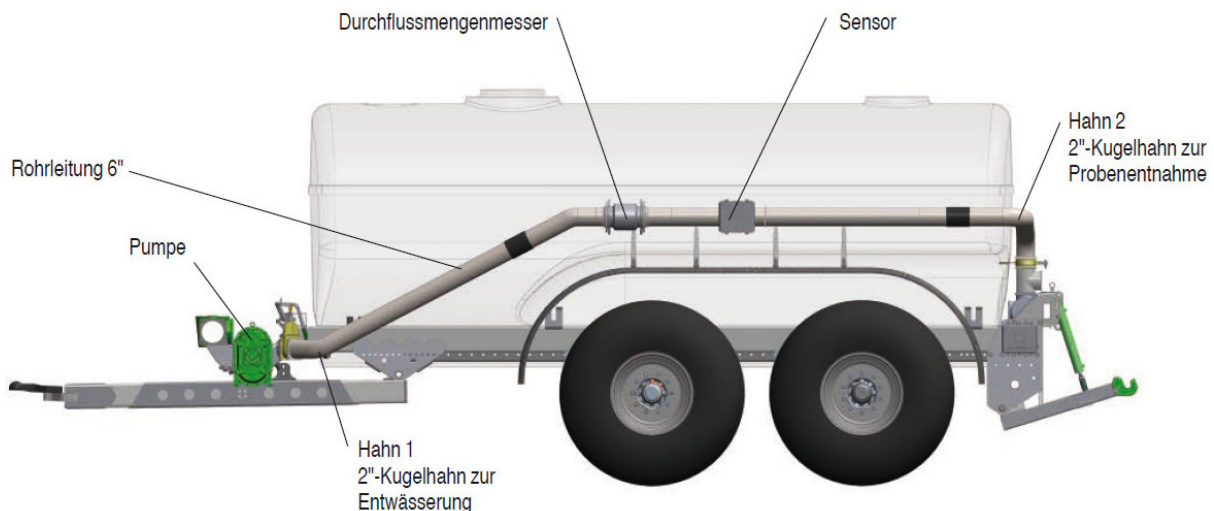
### Sensorik zur Bestimmung von Nährstoffgehalten in flüssigen Wirtschaftsdüngern

Die Anforderungen an die Ausbringung von Gülle sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nicht abzusehen. Bisher können die Nährstoffgehalte entweder aus Standard-Tabellen in die Dokumentation bzw. Bilanzierung übernommen oder durch wissenschaftlich anerkannte Methoden ermittelt werden. Die Werte aus den Standard-Tabellen bilden aber in der Regel die hohe Varianz der Nährstoffzusammensetzung auf den Betrieben nicht ab. Für die Laboranalyse werden zufällige Einzelproben am Vorratsbehälter entnommen und zu einer Mischprobe zusammengeführt. Dieser Prozess von Probennahme bis Ergebnisdokumentation ist mit einigen, in Summe aber bedeutsamen Fehlerquellen behaftet.

Seit kurzem aber sind neue Technologien auf dem Markt verfügbar, die Messungen der Nährstoffgehalte von flüssigen Wirtschaftsdüngern während der Befüllung oder der Ausbringung ermöglichen, z. B. mit Nahinfrarotsensorik (NIRS). Mit der Nutzung der NIRS-Technologie ist es nun möglich, die wertbestimmenden Inhaltsstoffe von Wirtschaftsdüngern, wie Rinder- und Schweinegülle, Mischgüllen aus Rinder- und Schweinegüllen oder flüssigen Gärresten aus Rinder- oder Schweinegüllen mit nachwachsenden Rohstoffen, am Ort des Geschehens und mit einer Genauigkeit zu messen, die das bisherige Methodenspektrum erweitert und zu einer Reduzierung der Messungenauigkeiten beitragen kann.

Die im Echtzeitverfahren gemessenen Werte liegen sofort verfügbar digital vor und die Protokolle können direkt für zum Beispiel Dokumentationszwecke weiterverwertet werden. Die Kenntnis der aktuellen Nährstoffgehalte beim Ausbringen der Gülle erlaubt es zudem, regelnd einzugreifen, sprich in Abhängigkeit vom flächenbezogenen Nährstoffbedarf den Volumenstrom oder die Vorfahrtsgeschwindigkeit zu variieren. In Kombination mit GNSS-Systemen und Applikationskarten werden somit teilflächenspezifische Nährstoffgaben planbar und realisierbar. Die Sensormessungen sind sogar für eine präzise Dokumentation mittels georeferenzierter Gülleausbringung nutzbar.

Wegen der Vielfalt der verschiedenen flüssigen Wirtschaftsdünger ist das eine große Herausforderung für die Entwickler und Hersteller der Sensortechnik. Die Echtzeit-Sensormessungen werden durch eine stetige Verbesserung der Kalibrationsmodelle genauer werden. Hinzu kommt außerdem die Möglichkeit, dass auch andere Messverfahren das Potenzial haben, auf eine kontinuierliche Messung von Nährstoffen in Gülle in nahezu Echtzeit hin adaptiert zu werden (z. B. NMR – Nuclear Magnetic Resonance). Die nasschemische Laboranalyse verliert hierdurch aber nicht an Bedeutung, denn sie ist als Referenzmethode für die Entwicklung von Kalibrationsmodellen und für die Prüfung der Funktionalität von Echtzeit-Sensoren auch in Zukunft unabdingbar.



**Bild 3:** Aufbau des Probennahme- und Analysesystems zur Prüfung von NIR-Sensorik [9]

**Figure 3:** Setup of sample and analysis system for testing of NIR sensors [9]

Zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Echtzeitsensoren werden je Wirtschaftsdüngerart fünf einzelne, möglichst unterschiedliche Güllen auf verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben gemessen und beprobt. Hierfür wird aus dem zuvor aufgerührten Güllelager jeweils eine Teilmenge von 3-5 m<sup>3</sup> in einen Zwischentank gepumpt. Am Zwischentank verbaut sind eine Pumpe und ein praxisübliches Rohrleitungssystem mit einem oder mehreren zu prüfenden Sensoren, ein Durchflussmengenmesser zur Kontrolle der Fließgeschwindigkeiten sowie ein Bypass zur Probenentnahme. Nach einer Vorlaufphase zur intensiven Homogenisierung werden die von den Sensoren für diese Fracht ermittelten Sensorwerte erfasst und bei Auf-

rechterhaltung des geschlossenen Kreislaufs Proben über den Bypass genommen. Die Proben werden gekennzeichnet und sofort für die Zwischenlagerung tiefgefroren. Von jeder Gülle werden auf diese Weise mindestens fünfzehn Einzelproben hergestellt. Anschließend werden von jeder Gülle jeweils zwei Proben anonymisiert an fünf fachkompetente Labore zur Analyse geschickt. Die restlichen Teilproben verbleiben als Rückstellmuster bei der DLG. Bei der Zwischenlagerung und dem Transport muss gewährleistet sein, dass die Proben nicht auftauen. Die beauftragten Labore müssen die Analysen mit anerkannten, vorzugsweise nasschemischen Analyseverfahren durchführen. Aus den daraus resultierenden fünfzehn Einzelergebnissen je Gülle und Inhaltsstoff wird dann ein Labormittelwert berechnet, welcher als Referenzwert für die Bewertung der Sensoren herangezogen wird. Liegt die Vergleichbarkeit zwischen dem Labormittelwert und dem Sensorwert innerhalb einer zulässigen Toleranz, spricht die DLG spezifisch für die Gülleart und die zu bestimmenden Nährstoffe eine DLG-Anerkennung aus. Die DLG-Anerkennung für Sensoren zur Ermittlung der Inhaltsstoffe in vorbeiströmenden Wirtschaftsdüngern beinhaltet ein mehrstufiges Bewertungssystem und kann für einzelne Güllearten und Inhaltsstoffe vergeben werden. Mindestens müssen aber die Anforderungen für die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehalts erfüllt werden [10].

Aktuell wurde zudem in der Normengruppe Landtechnik (NLA) ein Arbeitskreis zur Entwicklung eines Normenentwurfs gegründet, welcher sich mit der Definition von Verfahren und Anforderungen für eine Eignungsprüfung, aber auch einer kontinuierlichen Überwachung der Echtzeitsensoren beschäftigt. Der in diesem Arbeitskreis erstellte Normenentwurf soll dann bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) auf europäischer Ebene eingebracht werden.

## **Zusammenfassung**

Neueste Entwicklungen von Sensortechnik in der Landwirtschaft erlauben es, den Einsatz von Betriebsmitteln wesentlich effizienter zu gestalten. Darüber hinaus bieten sie eine gute Möglichkeit, die applizierten Nährstoffgehalte für das Berichtswesen zu dokumentieren. Das betrifft beispielsweise einerseits die bedarfsgerechte Nutzung von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern oder das Ersetzen von chemisch-synthetischem Pflanzenschutz durch mechanische Maßnahmen. In beiden Fällen spielt eine komplexe Sensortechnik mit entsprechender Datenauswertung eine entscheidende Rolle. Für das Prüfwesen in der räumlichen Positionsbestimmung sind Tachymeter auch unter dynamischen Bedingungen geeignet, eine hohe Genauigkeit zu erreichen.

## **Literatur**

- [1] Kortenbruck, D.; Griepentrog, H.W. und Paraforos, D.S.: Machine operation profiles generated from ISO 11783 communication data. 2017, Computers and Electronics in Agriculture, 140, 227–236.
- [2] Groth, S.; Goldmann, J. und Griepentrog, H.W.: Development of a Sensing System to Assess Automatic Steering Systems. VDI-MEG AgEng Conference, Hannover 2013, VDI-Berichte Nr. 2193, pp. 419–424.
- [3] Goldmann, J.: The future of automatic steering. 2017, Agrifuture, (4), p. 20–22.

- 
- [4] Paraforos, D.S.; Reutemann, M.; Sharipov, G.M.; Werner, R. und Griepentrog, H.W.: Total station data assessment using an industrial robotic arm for dynamic 3D in-field positioning with sub-centimetre accuracy. 2017, Computers and Electronics in Agriculture, 136, 166–175, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.009>.
  - [5] N.N.: DLG-Merkblatt 449. Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis. Frankfurt a.M., DLG e.V., 2019.
  - [6] Gerhards, R.; Kollenda, B.; Machleb, J.; Möller, K.; Butz, A.; Reiser, D. und Griepentrog, H.W.: Camera-guided Weed Hoeing in Winter Cereals with Narrow Row Distance. 2020, Gesunde Pflanzen, <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00523-5>.
  - [7] Schuchmann, G.: Auf die Führung kommt es an. 2020, FarmTest - DLG-Magazin für Qualität und Technik, Ausgabe 2, Seite 16-19.
  - [8] Griepentrog, H.W.; Noerremark, M.; Nielsen, J. und Soriano Ibarra, J.: Autonomous inter-row hoeing using GPS based side-shift control. 2007, Agricultural Engineering International - The CIGR Ejournal, IX (Manuscript ATOE 07 005).
  - [9] Rubenschuh, U. und Volz, F.: Nährstoffgehalte in Gülle online mit Sensoren bestimmen. DLG-Kompakt 8/2019, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V. (DLG).
  - [10] N.N.: DLG Prüfberichte zur geprüften NIR-Sensortechnik für Wirtschaftsdünger. URL – <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/suche-nach-pruefberichten/?pruefgebiet=2>, Zugriff am 26.02.2021.

### Autorendaten

Prof. Dr. Hans W. Griepentrog ist Fachgebietsleiter an der Universität Hohenheim.

Dr. Frank Volz ist Pressereferent Landtechnik bei der DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V.).

Dr. Ulrich Rubenschuh ist Bereichsleiter Landwirtschaft am DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel.

Georg Schuchmann ist Prüffingenieur am DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel.

### Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

#### Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Griepentrog, Hans W.; Volz, Frank; Rubenschuh, Ulrich; Schuchmann, Georg: Prüfwesen und Qualitätssicherung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. S. 1-8

#### Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111312-0>

#### Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2020/chapter/pruefwesen.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.